

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Propuesta de elaboración de un recipiente  
biodegradable a partir del gluten de trigo en  
la región de Cusco: una contribución a la  
sostenibilidad ambiental - 2020**

Pedro Arosquipa Quispe  
Alfonso Quispe Hankgo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Industrial

Cusco, 2020

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
ÍNDICE .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	10
INDICE DE FIGURAS.....	11
RESUMEN .....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN .....	15
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	17
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	17
1.1.1. Problema General.....	26
1.1.2. Problemas Específicos .....	26
1.2. Objetivos de la investigación .....	26
1.2.1. Objetivo General.....	26
1.2.2. Objetivos específicos .....	27
1.3. Justificación e importancia.....	27
1.3.1. Justificación .....	27
1.3.2. Importancia .....	28
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	29

2.1.	Antecedentes del problema .....	29
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	29
2.1.2.	Antecedentes Nacionales .....	32
2.1.3.	Antecedentes regionales y locales .....	36
2.2.	Bases teóricas .....	38
2.2.1.	Biodegradación .....	38
2.2.2.	Requisitos para que la biodegradación pueda llevarse a cabo .....	39
2.2.3.	Biodegradación de materiales plásticos .....	39
2.2.4.	Parámetros ambientales .....	39
2.2.5.	Materiales usados en la elaboración de envases biodegradables .....	40
2.2.6.	Materias primas de fuentes renovables .....	40
2.2.7.	Plastificantes .....	40
2.2.8.	Métodos empleados en la preparación de envases biodegradables a partir de proteínas.....	41
2.2.9.	Método físico-químico.....	42
2.2.10.	Método termoplástico.....	42
2.2.11.	Método termoecánico.....	43
2.2.12.	Pruebas físicas-mecánicas .....	43
2.2.13.	Trigo.....	44
2.2.14.	Variedades de trigo.....	45

2.2.15.	Disponibilidad, acceso y consumo de harina de trigo y sus derivados -año 2018- Perú	45
2.2.16.	Consumo per cápita de harina de trigo en Latinoamérica (Perú) .....	46
2.2.17.	Gluten de trigo.....	46
2.2.18.	Clasificación de gluten según su estructura .....	47
2.2.19.	Composición y estructura del gluten de trigo.....	48
2.2.20.	Determinación de propiedades en gluten .....	49
2.2.21.	Viscoelasticidad del gluten de trigo .....	52
2.2.22.	Comportamiento viscoelástico del gluten .....	55
2.2.23.	Cambios físicos y químicos del gluten durante el procesado de envases biodegradables .....	56
2.2.24.	Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades químicas del gluten para la elaboración de envases biodegradables .....	59
2.2.25.	Situación actual y desarrollo del mercado de envases biodegradables .....	63
2.2.26.	Aplicaciones de los recipientes biodegradables .....	64
2.2.27.	Prueba de Dureza Rockwell .....	66
2.2.28.	Permeabilidad.....	68
2.2.29.	Temperatura .....	68
2.2.30.	Decreto Supremo que aprueba la reducción del plástico de un solo uso y promueve el consumo responsable del plástico en las entidades del Poder Ejecutivo n.º 013- 2018-MINAM .....	68

2.2.31.	Reglamento sobre vigilancia y control sanitario de alimentos y bebidas, Decreto Supremo n.º004-2014 – SA .....	70
2.2.32.	Norma sanitaria para la fabricación de alimentos a base de granos y otros, Resolución Ministerial n.º 451-2006-MINSA .....	71
	Artículo 2 .....	71
2.2.33.	Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas UNE-EN ISO 14855-1-2012 .....	71
2.3.	Definiciones y términos básicos .....	72
2.3.1.	Representación gráfica de los procesos .....	72
2.3.2.	Diagrama de Operaciones de Proceso .....	72
2.3.3.	Diagrama de Análisis de Proceso .....	73
2.3.4.	Diagrama de Proceso Hombre – Máquina .....	74
2.3.5.	Simulación .....	75
2.3.6.	Simulación con ProModel .....	77
2.3.7.	Prensa .....	78
2.3.8.	Prensa Neumática .....	78
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	79
3.1.	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución .....	79
3.1.1.	Tipo de Investigación .....	79
3.1.2.	Alcance de la investigación .....	79

3.1.3.	Diseño de investigación .....	79
3.1.4.	Enfoque mixto de la investigación.....	79
3.2.	Técnicas e Instrumentos .....	80
3.2.1.	Técnicas .....	80
3.2.2.	Instrumentos.....	81
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN .....	82
4.1.	Identificación de requerimientos .....	82
4.2.	Análisis de la solución.....	83
4.2.1.	Determinación del proceso de extracción del gluten de trigo.....	96
4.2.2.	Determinación del Proceso Productivo de un recipiente biodegradable .....	103
4.2.3.	Diagrama Hombre y Máquina .....	107
4.2.4.	Análisis técnico económico de proceso de elaboración de un recipiente biodegradable .....	109
5.	CAPÍTULO V: CONSTRUCCIÓN.....	118
5.1.	Construcción de la termo - prensa neumática .....	118
5.1.1.	Descripción de un recipiente biodegradable como producto final.....	120
5.1.2.	Pruebas físicas de un recipiente biodegradable a partir de gluten de trigo .....	121
5.2.	Pruebas y resultados .....	126
5.2.1.	Simular la fabricación de un recipiente biodegradable mediante el uso del <i>software</i> ProModel.....	126

RECOMENDACIONES.....	135
BIBLIOGRAFÍA .....	137
ANEXOS .....	147

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Superficie Cosechada Mensual de Trigo en la Región Cusco 2012 .....	84
<b>Tabla 2.</b> Superficie Cosechada Mensual de Trigo en la Región Cusco, 2013 .....	85
<b>Tabla 3.</b> Superficie Cosechada mensual de trigo en la Región Cusco 2014.....	86
<b>Tabla 4.</b> Superficie Cosechada anual de trigo en la Región Cusco, 2015.....	87
<b>Tabla 5.</b> Superficie Cosechada anual de trigo en la Región, Cusco 2016.....	88
<b>Tabla 6.</b> Superficie Cosechada mensual de trigo en la Región Cusco, 2017.....	89
<b>Tabla 7.</b> Superficie Cosechada mensual de trigo en la Región Cusco, 2018.....	90
<b>Tabla 8.</b> Superficie cosechada mensual de trigo en la Región Cusco 2019.....	91
<b>Tabla 9.</b> Resumen de producción de trigo en toneladas en la Región Cusco. ....	92
<b>Tabla 10.</b> Consumo per cápita de harina de trigo en la Región Cusco. ....	95
<b>Tabla 11.</b> Disponibilidad de harina de trigo para la elaboración de recipientes biodegradables en la Región Cusco. ....	95
<b>Tabla 12.</b> Proceso de extracción de gluten de trigo - lavado manual.....	96
<b>Tabla 13.</b> Harina de trigo requerida para la extracción de gluten. ....	97
<b>Tabla 14.</b> Costo de materia prima para un recipiente biodegradable.....	109
<b>Tabla 15.</b> Resumen de costos de producción para un recipiente biodegradable.....	110
<b>Tabla 16.</b> Producción de un recipiente biodegradable .....	110
<b>Tabla 17.</b> Costo de producción unitario de un recipiente biodegradable.....	111
<b>Tabla 18.</b> Propuesta de producción de recipientes biodegradables en ocho horas. ....	112
<b>Tabla 19.</b> Posible venta de un recipiente biodegradable. ....	113
<b>Tabla 20.</b> Proyección posible de venta de recipientes biodegradables por día. ....	114
<b>Tabla 21.</b> Estado de ganancias y pérdidas de un recipiente biodegradable. ....	115



<b>Tabla 22.</b> Estado de ganancias y pérdidas para una producción en ocho horas.....	116
<b>Tabla 23.</b> Prueba de dureza método Rockwell tipo B.....	121
<b>Tabla 24.</b> Permeabilidad al agua de un recipiente .....	122
<b>Tabla 25.</b> Prueba de temperatura de un recipiente. ....	123
<b>Tabla 26.</b> Evaluación de biodegradación de un recipiente a partir de gluten de trigo. ....	124
<b>Tabla 27.</b> Componentes de materia orgánica para la biodegradación de un recipiente. ....	124

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Variación en la generación de residuos sólidos municipales según departamentos 2014-2018. ....	24
<b>Figura 2.</b> El consumo de plásticos convencionales en el Perú y el Mundo. ....	25
<b>Figura 3.</b> Clasificación de trigo según grupos .....	45
<b>Figura 4.</b> Consumo per cápita de harina de trigo en Latinoamericana .....	46
<b>Figura 5.</b> Modelo de “Loop and Train” para la hidratación de proteínas de gluten. ....	54
<b>Figura 6.</b> Modelo para el entrecruzamiento de proteínas por reacciones de intercambio SH/SS durante el tratamiento térmico de gluten hidratado. ....	61
<b>Figura 7.</b> Escala de dureza Rockwell.....	67
<b>Figura 8.</b> Símbolos del Diagrama de Operaciones de Proceso – DOP. ....	73
<b>Figura 9.</b> Símbolos de Diagrama de Análisis de Proceso – DAP. ....	74
<b>Figura 10.</b> Diagrama Hombre - Máquina.....	75
<b>Figura 11.</b> Simulación con software ProModel. ....	77
<b>Figura 12.</b> Producción de trigo durante 8 años en la Región Cusco. ....	93
<b>Figura 13.</b> Producción de trigo anual en porcentajes.....	93

<b>Figura 14.</b> Diagrama de Operaciones de Proceso de extracción del gluten.....	98
<b>Figura 15.</b> Diagrama de Análisis de Proceso de extracción del gluten.....	101
<b>Figura 16.</b> Diagrama de Procesos de Operación - elaboración de un recipiente biodegradable.	103
<b>Figura 17.</b> Diagrama de Análisis de Proceso elaboración de un recipiente biodegradable. ....	105
<b>Figura 18.</b> Diagrama Hombre - Máquina - prensado de un recipiente biodegradable.....	107
<b>Figura 19.</b> Resumen de análisis de la información Hombre - Máquina. ....	108
<b>Figura 20.</b> Diseño de termo -prensa neumática de vista en planta. ....	119
<b>Figura 21.</b> Diseño de termo -prensa neumática- vista frontal.....	120
<b>Figura 22.</b> Descripción del diseño de un recipiente biodegradable. ....	120
<b>Figura 23.</b> Simulación del proceso de elaboración de un recipiente biodegradable con Software ProModel.....	126
<b>Figura 24.</b> Capacidad individual Locación - Estado durante el proceso productivo de un recipiente.....	127
<b>Figura 25.</b> Resumen general de locaciones del proceso productivo. ....	128
<b>Figura 26.</b> Lógica de movimiento de Entidad - Estado. ....	129
<b>Figura 27.</b> Simulación del proceso productivo de un recipiente biodegradable a partir de gluten de trigo. ....	131

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo proponer la elaboración de un recipiente biodegradable a partir del gluten de trigo en la región Cusco como contribución a la sostenibilidad. Es de tipo tecnológico porque busca aplicar conocimientos, metodologías y técnicas en la elaboración de un determinado producto y su biodegradación como propuesta de solución al problema de uso de plásticos convencionales por otros más amigables con el medio ambiente de manera sostenible y con responsabilidad social, involucrando la conciencia de los consumidores y de las empresas. Para ello se determinaron los análisis según el nivel, diseño y enfoque de investigación de forma cuantitativa y cualitativa, así como la cantidad de trigo requerida, proceso de extracción del gluten, procesos productivos y la simulación de un recipiente biodegradable, empleando herramientas como el Diagrama de operaciones de procesos, Diagrama de análisis de proceso, el Diagrama de hombre - máquina y el uso de software ProModel para la simulación de todo el proceso productivo de un recipiente biodegradable. En tal sentido fue necesario considerar el diseño de un recipiente biodegradable, la termo - prensa neumática, análisis técnico económico, el análisis de pruebas físicas de un recipiente biodegradable y la simulación de un recipiente biodegradable. En conclusión, este trabajo de investigación permitió alcanzar los objetivos planteados cuya finalidad es la propuesta de elaboración de un recipiente biodegradable a partir del gluten de trigo en la Región Cusco.

**PALABRAS CLAVE:** Elaboración, biodegradable, gluten de trigo, recipiente, sostenibilidad, simulación.

## **ABSTRACT**

The present research work aims to propose the elaboration of a biodegradable container from wheat gluten in the Cusco region as a contribution to sustainability. It is of a technological nature because it seeks to apply knowledge, methodologies and techniques in the elaboration of a certain product and its biodegradation as a proposed solution to the problem of using conventional plastics by others that are more environmentally friendly in a sustainable way and with social responsibility, involving consumer and business awareness. For this, the analyzes were determined according to the level, design and research approach in a quantitative and qualitative way, as well as the amount of wheat required, gluten extraction process, production processes and the simulation of a biodegradable container, using tools such as the Diagram of process operations, Process Analysis Diagram, the Man - Machine Diagram and the use of ProModel software for the simulation of the entire production process of a biodegradable container. In this sense, it was necessary to consider the design of a biodegradable container, the pneumatic thermo-press, economic technical analysis, the analysis of physical tests of a biodegradable container and the simulation of a biodegradable container. In conclusion, this research work made it possible to achieve the proposed objectives whose purpose is to propose the elaboration of a biodegradable container from wheat gluten in the Cusco Region.

**KEY WORDS:** Processing, biodegradable, wheat gluten, container, sustainability, simulation.